

## РОЗПОДІЛ РЕСУРСІВ З ПІДТРИМКОЮ ЗАДАНОЇ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЛЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ АЕРОПЛАТФОРМ

**Кравчук С.О., Афанасьєва Л.О.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: sakravchuk@ukr.net*

### Resources distribution for the telecommunication systems based on aero-platform

The mechanisms of optimal planning and distribution of resources for maintenance of the cluster chairman (CC)-UAV are proposed, provided that minimization of the transmission power of the CC and the satisfaction of the requirements for the speed of the transmission of ground equipment is proposed. The minimum number of UAVs and their service time circuit, which provide speed stability queues packets.

Подальший розвиток телекомунікаційних систем на базі аероплатформ (ТСВА) потребує нових високоефективних механізмів розподілу ресурсів при збереженні необхідного рівня якості обслуговування [1-6].

В системному сценарію дослідження розглянуто ряд малогабаритних наземних терміналів (НТ), розподілених в певній географічній зоні. Дані НТ утворюють набір (множину) кластерів  $\mathcal{G} = \{G_1, G_2, \dots, G_{|\mathcal{G}|}\}$ . В кожному кластері обирається один НТ в якості кластерного головуєчого (КЗ), який несе відповідальність за відправку пакетів даних від усіх своїх членів кластера, використовуючи лінії передачі висхідної лінії зв'язку. Прийmemo, що  $\mathcal{Z}$  є множина показників (індексів) КЗ. Розмір кожного пакету даних по відношенню до КЗ є  $D_g$  ( $g \in \mathcal{Z}$ ). В заданій географічній зоні використовується множина безпілотних літальних апаратів (БЛА) в якості літаючих базових станцій для об'єднання пакетів даних (їх прийому) від КЗ. Прийmemo через множину  $\mathcal{U}$  кількість  $U$  доступних БЛА. Останні повинні динамічно рухатись і зависати над КЗ, щоб об'єднувати дані каналу вверх. Зрозуміло, що час затримки (обслуговування) кожного БЛА залежить від кількості пакетів, які КЗ хоче передати. Для випадку багатостанційного доступу розглянемо схему OFDMA (orthogonal frequency division multiple access) із  $Z$  ресурсними блоками (РБ), кожен з яких займає ширину смуги  $\Delta f_z$ . Припустимо, що  $Z_u$  це кількість РБ, що асоціюється з заданими БЛА  $u$ . Для кожного БЛА  $u$  визначається вектор  $\mathbf{d}_u = [d_{g_u}]_{|\mathcal{G}| \times 1}$  причому кожен елемент являє собою час обслуговування БЛА, необхідний для покриття КЗ  $g$  протягом  $T$ . Також визначимо  $P_{g,z}$  як потужність, що передається, що КЗ  $g$  необхідний для надійної передачі даних більше РБ  $z$ .

В кожному кластері черга пакетів даних на КЗ вміщує усі пакетів даних від членів кластеру (ЧК). В кожному часовому слоті ЧК передає до КЗ свій пакет даних з ймовірністю  $p$ . Прийmemo, що  $a_{g,t}$  є процесом надходження таких пакетів даних до КЗ, де  $g$  - кластер  $G_g$  протягом часового слоту  $t$ . При цьому пакети даних від кожного ЧК буде негайно запускати процес надходження пакету даних до КЗ. Протягом кожного часового слоту  $a_{g,t}$  може змінюватись

від 0, який вказує на відсутність ЧК в даних  $G_g$ , що передаються, до  $|G_g|$ , який вказує, що усі НТ в  $G_g$  передають пакети даних до БЛА.

Для того, щоб гарантувати, що довжина черги КЗ не стане нескінченною, кількість БЛА та їх час обслуговування КЗ повинні бути достатніми. Тому спочатку визначається мінімальна кількість БЛА та їх час обслуговування КЗ, які забезпечують стабільність швидкості черги. Потім для встановлення успішної передачі по висхідній лінії зв'язку КЗ, визначається оптимальна кількість ресурсних блоків і мінімальна потужність, що передається, для кожного КЗ. В цьому випадку необхідно вирішити проблему оптимального розподілу ресурсів для енергозберігаючих комунікацій КЗ-БЛА.

Тривалість часу, необхідна для збору пакетів з кожного КЗ повинна бути досить довгою, щоб гарантувати стабільність швидкості черги. Теорема про стійкість швидкості вводить наступне правило для стабілізації мережі з багатьма чергами: приймати рішення на планування таким чином, щоб середній час обслуговування і швидкість прибуття задовольняли для середніх значень  $a_{g,t} \leq d_{g,t}$  для кожної черги  $g$ . Визначимо матрицю  $\mathbf{D} = [d_u]_{|G| \times U}$ , де з кожним стовпцем - вектор  $d_u$ .

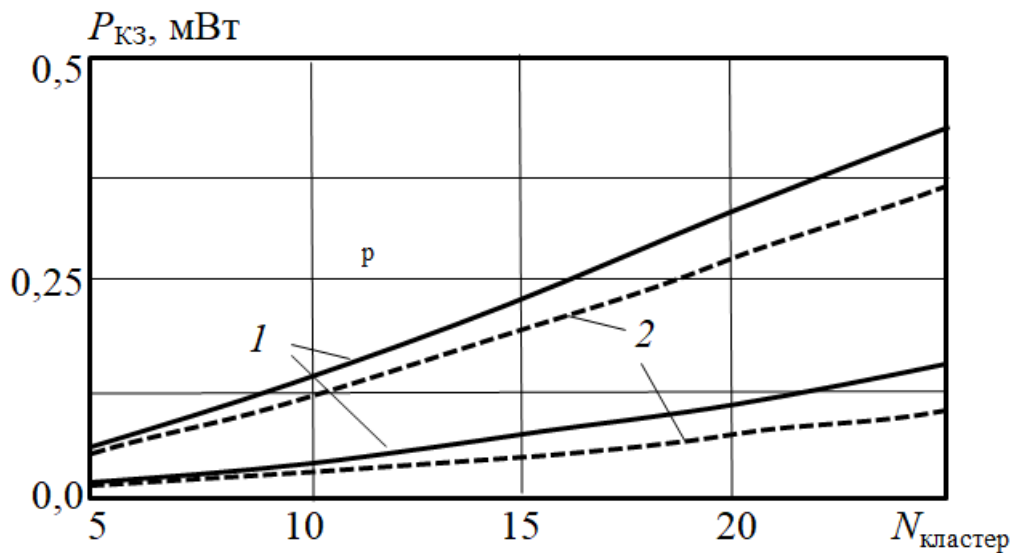
Виходячи з визначення множини планувальних рішень за час обслуговування БЛА  $\Lambda$ , мінімальна кількість безпілотних літальних апаратів - це число, для якого  $\Lambda$  не є порожнім для заданої швидкості прибуття.

Далі, для кожного КЗ знаходимо оптимальну кількість блоків ресурсів і мінімальну потужність передачі, необхідну для успішної та енергоефективної передачі у висхідній лінії зв'язку. У нашій моделі системні ресурси включають блоки ресурсів, призначені для БЛА, і потужність передачі кожного КЗ. Кожен КЗ повинен передавати свої пакети з мінімальною потужністю, використовуючи призначені блоки ресурсів. Проблема розподілу блоків спільного ресурсу та оптимізації керування потужністю, яка мінімізує загальне споживання енергії КЗ, дається як

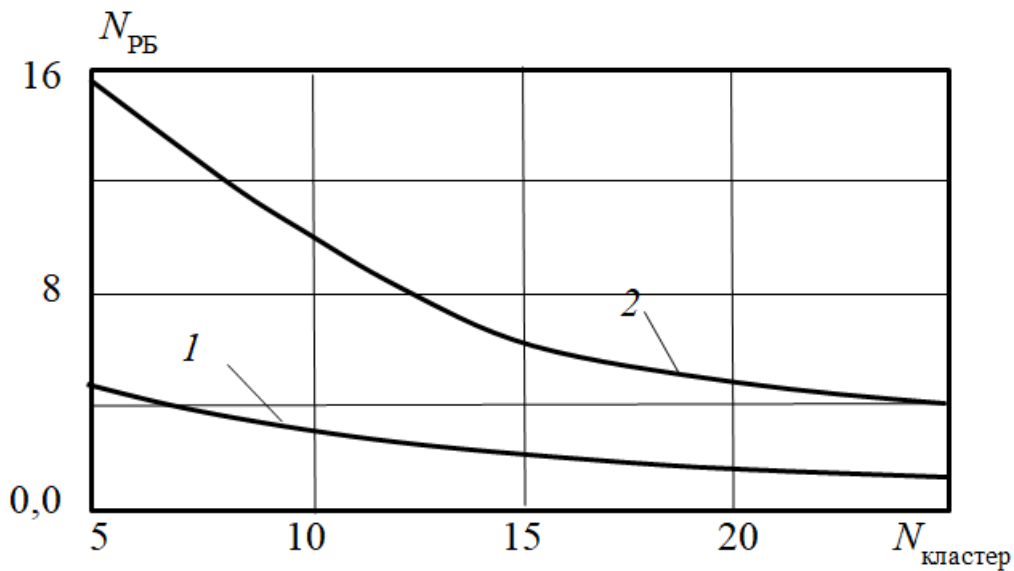
$$\min_{P,z} \sum_g \sum_u d_g^u \sum_{z_u} P_{g,z}^u,$$

де  $P_{g,z}^u$  - потужність, що передається, від кожного КЗ  $g$  по субканалу  $z$ , коли КЗ  $g$  обслуговується БЛА  $u$  ( $0 < \sum_z P_{g,z}^u \leq P_g^{max}$ );

На рис. 1, а представлено середню потужність передачі КЗ від кількості кластерів для двох сценаріїв. У першому сценарії, використовуються ряд БЛА як повітряні базові станції, а в другому сценарії - численні наземні базові станції (рівні кількості БЛА), які рівномірно розміщені для обслуговування КЗ. Як видно з рис. 1, а використання повітряних базових станцій призводить приблизно до 60% зниження потужності КЗ у порівнянні з тільки наземними базовими станціями. Наприклад, для 15 кластерів та 5 РБ, потужність передачі КЗ зменшується з 0,24 мВт до 0,06 мВт за допомогою БЛА замість наземних базових станцій. На практиці БЛА можуть ефективно рухатись у напрямках КЗ і значно зменшувати ефекти блокування та затінення. Отже, КЗ можуть використовувати більш низьку потужність передачі для передачі своїх даних на БЛА, ніж до наземних базових станцій.



a)



б)

Рис. 1. Залежності середньої потужності передачі КЗ (а) і середньої кількості РБ на БЛА (б) від кількості кластерів для двох сценаріїв обслуговування КЗ за допомогою БЛА (неперервна крива) і наземних БС (пунктирна крива): 1 – РБ = 5; 2 – РБ = 20.

З рис. 1, а видно, що середня потужність передачі на КЗ зростає, коли кількість кластерів збільшується. Це пов'язано з тим, що, коли кількість КЗ збільшується, середній час, який кожний безпілотник може витратити для збирання даних з кожного КЗ, зменшиться. Таким чином, КЗ повинен відправити свій пакет з мінімальною тривалістю часу. Отже, КЗ збільшує свою потужність передачі, щоб відповідати швидкості слідування пакетів протягом заданого короткого часу.

На рис. 1, б представлено вплив кількості кластерів на середню кількість блоків ресурсів, які необхідно призначити для кожного безпілотника. З рис. 1, б видно, що середня кількість блоків ресурсів на БЛА нижче для більшої

кількості кластерів. Це пов'язано з тим, що із збільшенням кількості кластерів мінімальна кількість необхідних БПЛ буде збільшуватися. Отже, кількість РБ на один БЛА відповідно зменшується. Наприклад, як показано на рис. 1, б, коли кількість кластерів збільшується з 10 до 20, середня кількість РБ на одиницю БЛА зменшується з 10 до 4 при загальній сумі 20 РБ.

Таким чином, Запропоновано механізми оптимального планування і розподілу ресурсів для підтримання зв'язку КЗ-БЛА при умові зведення до мінімуму потужності передачі КЗ і задоволенні вимог до швидкості передачі наземних пристроїв. Визначено мінімальну кількість БЛА та їх час обслуговування КЗ, які забезпечують стабільність швидкості черги пакетів. Для встановлення успішної передачі по висхідній лінії зв'язку КЗ, визначено оптимальну кількість ресурсних блоків і мінімальну потужність, що передається, для кожного КЗ. Розв'язано проблему оптимального розподілу ресурсів для енергозберігаючих комунікацій КЗ-БЛА.

Результати моделювання показують, що, оскільки вірогідність передачі пакетів наземних терміналів збільшується, також значно збільшується мінімальна кількість БЛА, необхідних для забезпечення стабільності швидкості слідування черги в кластерних головуєчих. Визначено, що використання повітряних базових станцій на БЛА призводить приблизно до 60% зниження середньої потужності кластерних головуєчих у порівнянні з тільки наземними базовими станціями.

### Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
2. Ильченко М.Е., Кравчук С.А. Телекоммуникационные системы на основе высотных аэроплатформ. – К.: Наукова думка, 2008. – 580 с.
3. Prospects of using of aerial stratospheric telecommunication systems / M. Zgurovsky, M. Pchenko, S. Kravchuk, V. Kotovskyi, T. Narytnik, L. Cybulskiy // Proceedings of the 2016 IEEE International Scientific Conference "RadioElectronics & InfoCommunications" (UkrMiCo'2016), 11-16 September 2016, Kyiv, Ukraine. IEEE Conference Publications, 2016. – P. 20-23.
4. Кузьміч М.Ю., Кравчук С.О. Дослідження мобільної mesh-мережі безпілотних літальних апаратів з урахуванням затримки між вузлами // Матер. 11-ї міжнар. наук.-техн. конф. "Проблеми телекомунікацій", 18–21 квітня, 2017 р. – К.: Хімджест, 2017. – С. 196–198.
5. Афанасьєва Л.О., Кравчук С.О., Міночкін Д.А. Ймовірність переривання зв'язку у безпроводовій системі з багатоантенною кооперативною ретрансляцією // Зб. наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2016. – Вип. № 51. – С. 19-26.
6. Рижко А.В., Кравчук С.О. Дослідження можливості підвищення якості обслуговування для мереж багатопробольотної ретрансляції стандарту IEEE 802.16j // Матер. 11-ї міжнар. наук.-техн. конф. "Проблеми телекомунікацій", 18–21 квітня, 2017 р. – К.: Хімджест, 2017. – С. 163–165.